

Chapitre I

Vue générale

1 Définition et classification

Une machine (ou une turbomachine) est un ensemble mécanique dont le rôle est d'assurer un échange d'énergie entre un fluide en écoulement et un rotor animé d'un mouvement de rotation.

Dans une machine, le fluide sera généralement emprisonné dans une capacité dont le volume est variable pendant le transfert énergétique, alors qu'une turbomachine forme au contraire un système ouvert. La conversion de l'énergie d'une forme à une autre étant obtenue, dans ce dernier cas, par déviation des filets fluides dans des aubages.



FIG. I-1 - Turbomachine axiale de détente à fluide incompressible

1.1 Machine génératrice et machine réceptrice

La puissance mécanique fournie au rotor d'une machine (ou d'une turbomachine) génératrice permet d'obtenir une élévation du niveau d'énergie du fluide, donc une augmentation de la pression de ce dernier.

On verra plus tard qu'il s'agit de la pression d'arrêt du fluide.

A cette famille appartiennent :

- les pompes
- les ventilateurs

- les compresseurs ou soufflantes
- les hélices marines et aériennes, qui tiennent une place particulière parce qu'elles empruntent et rejettent le fluide dans un même milieu illimité.

Le fluide est gazeux pour les compresseurs et les ventilateurs, et il est liquide pour les pompes ; il est l'un ou l'autre pour les hélices. Dans un ventilateur, l'apport d'énergie est peu important et les variations de masse spécifique sont suffisamment faibles pour qu'on puisse considérer le gaz comme un fluide incompressible. Dans un compresseur, par contre, la compressibilité ne peut plus être négligée. Pour les pompes, le fluide est à l'état liquide et les phénomènes de compressibilité n'interviennent pas *a priori*.

Dans une machine ou une turbomachine réceptrice, l'énergie totale du fluide est transformée en puissance mécanique disponible sur l'arbre de la machine. Cette diminution d'énergie se traduit, pour le fluide, par une chute de pression d'arrêt. Les machines de cette famille sont généralement appelées turbines, à l'exception de celles qui aspirent et refoulent le fluide dans un même milieu illimité : ce sont les éoliennes et les aéromoulinets.

1.2 Turbomachine radiale et turbomachine axiale

On dit qu'une turbomachine est radiale si la direction générale de l'écoulement est perpendiculaire à l'axe de rotation (fig. I-2). Elle est centrifuge si le fluide s'éloigne de l'axe, et centripète dans le cas contraire.

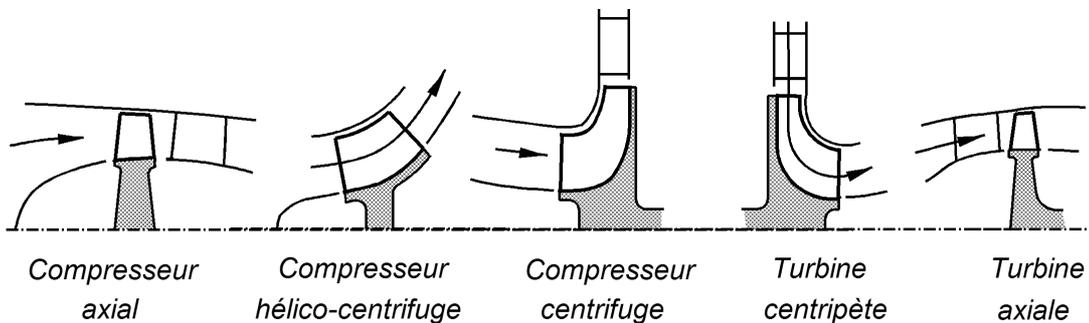


FIG. I-2 - Classification des turbomachines

Une turbomachine est dite axiale si la direction générale de l'écoulement est parallèle à son axe de rotation. Enfin, bien qu'elles soient moins répandues que les précédentes, on trouve des machines hélico-centrifuges (ou hélico-centripètes) dans lesquelles la direction de l'écoulement fait avec l'axe de rotation un angle compris entre 0 et 90° .

C'est principalement la valeur du débit-volume qui oriente le choix entre machine axiale et machine radiale.

2 Présentation de quelques machines

2.1 Machines réceptrices

En figure I-1, on montre un moulin à vent. C'est une turbomachine de détente à fluide incompressible de type axial. La très faible différence de pression, donc de masse

volumique, de part et d'autre du mobile, fait que l'air peut être considéré comme un fluide incompressible. Ce n'est qu'une approximation parfaitement acceptable dans le cas considéré. On dit que cette machine est axiale car l'écoulement est, en gros, parallèle à l'axe. On extrait de l'énergie cinétique sur l'air pour la transformer en énergie mécanique utilisée pour moudre le grain. C'est une turbomachine de détente, car la pression en aval du mobile est plus faible que la pression en amont.

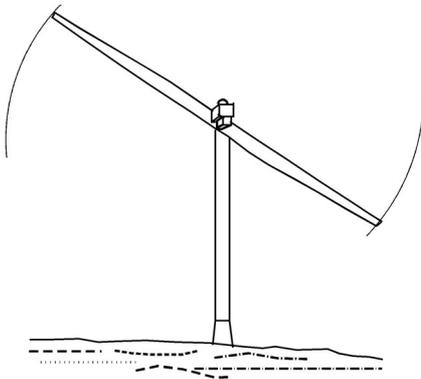


FIG. I-3 - Eolienne

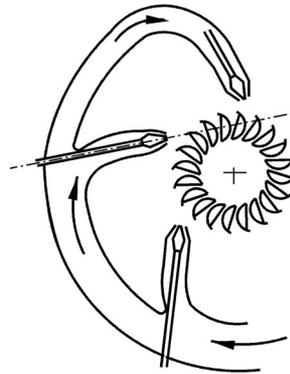


FIG. I-4 - Turbine hydraulique

En figure I-3, on a maintenant une éolienne de grande puissance (plus d'un mégawatt). Compte tenu des vitesses atteintes en bout de pale, l'air ne peut plus être considéré comme un fluide incompressible. Des écarts importants de pression, donc de masse volumique, existent. Cette éolienne est une turbomachine de détente à fluide compressible de type axial.

L A 12/16/25

M A N I E R E D'AMOLIR LES OS. E T DE FAIRE CUIRE TOUTES sortes de viandes en fort peu de temps, & à peu de frais.

*Avec une description de la Machine
dont il se faut servir pour cet effet,
ses propriétés & ses usages, confirmez
par plusieurs Experiences.*

NOUVELLEMENT INVENTE;

Par M. P A P I N , Docteur en
Medecine.




P A R I S.

Chez ESTIENNE MICHALETTE, rue
Saint Jacques, proche la Fontaine Saint
Severin, à l'Image Saint Paul.

M. DC. LXXXII.
Avec Approbation & Permission.

FIG. I-5 - Page de garde
du Livre de Denis Papin
déposé à la bibliothèque
du Conservatoire national
des Arts et Métiers

Sur la figure I-4, on montre une turbine hydraulique Pelton. C'est une turbomachine

de détente à fluide incompressible de type radial car l'écoulement est perpendiculaire à l'axe.

Denis Papin fut le premier à observer que la pression dans un récipient fermé rempli d'eau augmentait lorsque l'on chauffait cette eau. La pression augmente tellement que Papin inventa au passage la soupape de sûreté afin de prévenir d'éventuels accidents. Ayant obtenu une augmentation de pression de la vapeur, il sut l'utiliser et inventa la machine à vapeur, en 1690. En faisant détendre cette vapeur dans un cylindre muni d'un piston, il devenait en effet possible de récupérer de l'énergie mécanique (fig.I-5).

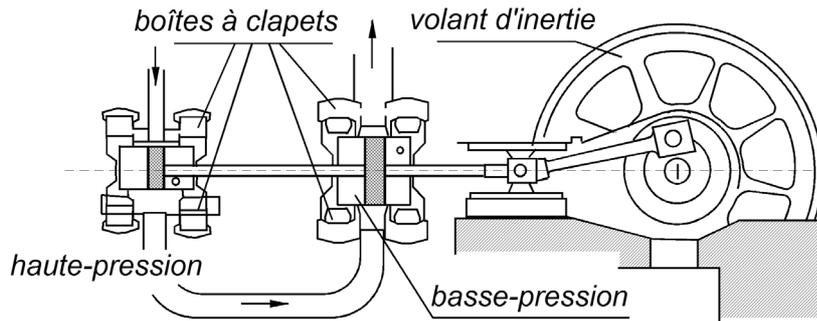


FIG. I-6 - Ancienne machine à vapeur à soupapes

Les machines fournissant ou transformant de l'énergie furent d'abord des machines alternatives à pistons. Leur création demandait, en effet, davantage d'ingéniosité que de connaissances physiques ou mathématiques. Bien entendu, ces machines ont été perfectionnées ultérieurement et elles rivalisent actuellement avec les turbomachines dans une certaine gamme de pression et de débit.

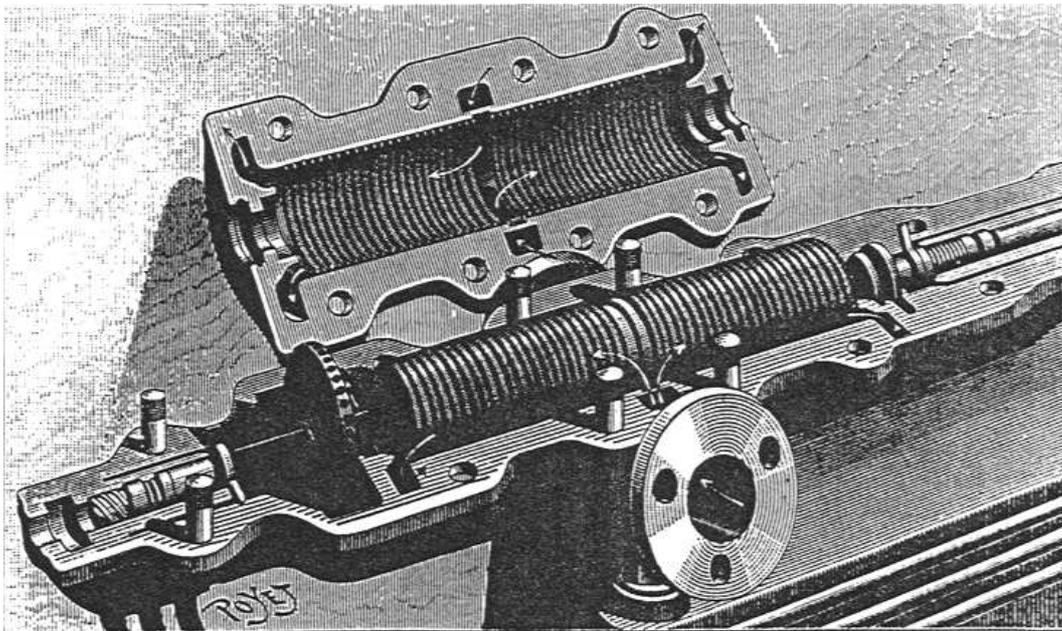


FIG. I-7 - Ancienne turbine à vapeur

On présente en figure I-6, une machine à vapeur des années 1900, c'est une machine volumétrique de détente à fluide compressible. Par tour, un certain volume de fluide

est traité, proportionnel à la capacité des cylindres, ce qui justifie pour les machines de ce type leur appellation : machines volumétriques. La vapeur sous pression est introduite alternativement de part et d'autre des cylindres haute pression et basse pression par l'intermédiaire de soupapes. Le travail mécanique est récupéré sur un arbre muni d'un volant d'inertie pour régulariser la vitesse.

La première turbine à vapeur de Parsons (1897) possède les mêmes éléments qu'une turbine à vapeur moderne. A une exception majeure près. On voit en figure I-7 que les aubages ont des hauteurs identiques tout le long de l'axe, ce qui revient à dire que l'on n'avait pas pu considérer, à l'époque, les caractéristiques réelles de la vapeur lors de la détente. La vapeur est un fluide compressible : lorsque la pression chute, la masse volumique baisse et les sections offertes au fluide doivent augmenter. Puisque ce point essentiel n'avait pas pu être pris en compte dans la machine initiale, la majorité de la détente ne pouvait s'effectuer que dans le dernier étage. Sur un corps basse pression d'une turbine moderne, on observe la forte augmentation de section due à la loi de compressibilité de la vapeur lors de la détente (fig. I-8). Une turbine à vapeur est une turbomachine de détente à fluide compressible de type axial.

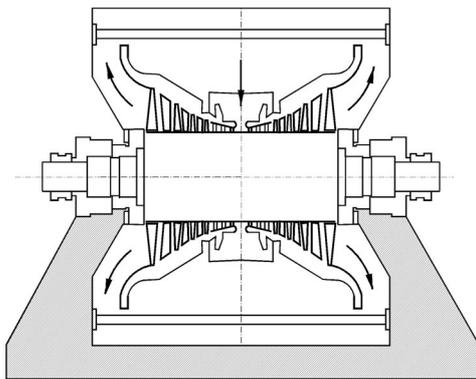


FIG. I-8 - Turbine à vapeur

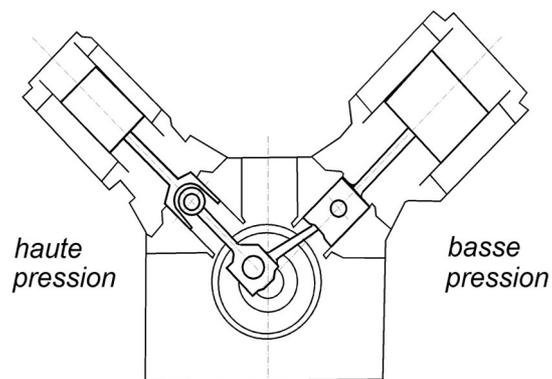


FIG. I-9 - Compresseur à pistons

2.2 Machines génératrices

Un compresseur à piston est une machine volumétrique de compression à fluide compressible. En figure I-9 est montré un compresseur à pistons en V, comprenant un corps basse pression et un corps haute pression. On verra l'intérêt d'une réfrigération du fluide sur le circuit reliant les deux corps.

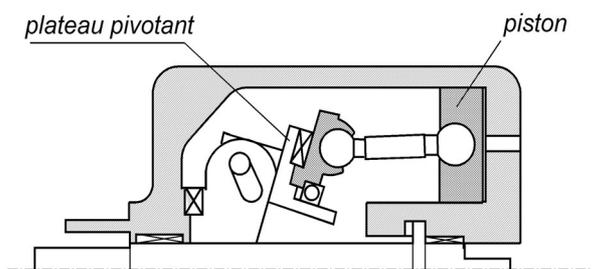


FIG. I-10 - Compresseur à barillet

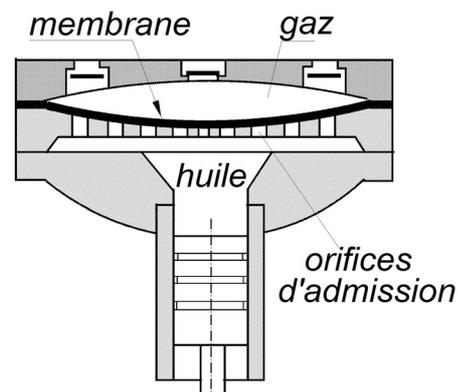


FIG. I-11 - Compresseur à membrane

Sur le compresseur à barillet de la figure I-10, la transformation du mouvement est assurée par un plateau pivotant. Les pompes à huile pour servomécanismes ont le même schéma de principe mais à une différence notable près. Du fait de l'incompressibilité de l'huile, les clapets devront s'ouvrir à la demande exclusive du fluide, dont le volume reste constant.

Certaines utilisations de l'air et des gaz comprimés en industrie chimique, alimentaire, nucléaire, etc., exigent une teneur en huile inférieure à 5 parties par million (5 ppm) en masse ; on peut alors par exemple utiliser des compresseurs à membrane (fig. I-11).

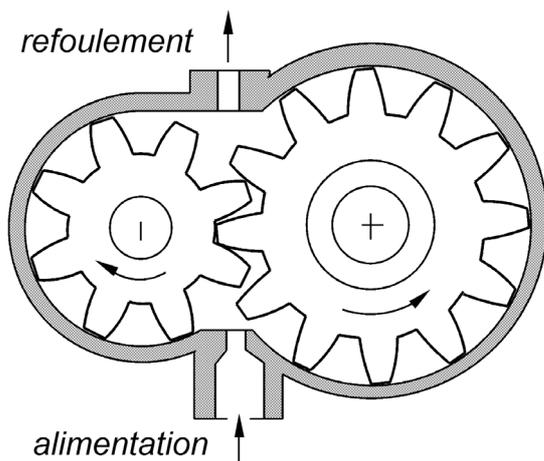


FIG. I-12 - Compresseur à engrenages

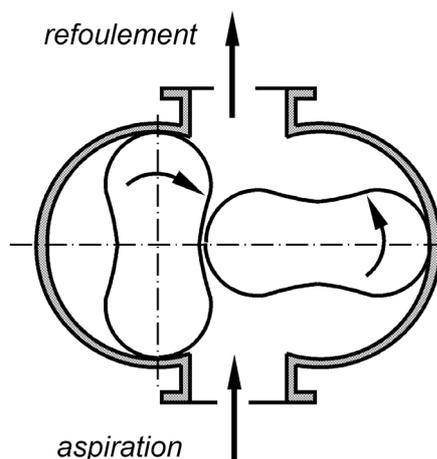


FIG. I-13 - Compresseur à lobes

Le principe de cet appareil consiste à faire agir un piston, non plus directement sur l'air ou le gaz à comprimer, mais sur une membrane par l'intermédiaire d'un fluide incompressible, généralement de l'huile. La chambre de compression est constituée par l'espace entre la membrane et le fond d'un plateau creusé en forme de calotte sphérique. Les déplacements du piston sont transmis, par l'huile, à la membrane qui se meut entre les deux calottes sphériques. On aspire et on refoule alternativement le fluide. Un compresseur à membrane fournit du gaz sous forte pression, avec un débit faible. Le gaz comprimé est obtenu avec la même qualité qu'avant compression.

D'une façon générale, les compresseurs à pistons ne peuvent dépasser une vitesse linéaire de l'ordre de 5 m/s ; ils conviennent pour les petits débits. On va donc présenter maintenant des classes de machines rotatives susceptibles de traiter des débits plus élevés.

Les machines alternatives sont le siège de pulsations de pression souvent gênantes pour l'utilisateur ; le passage à des machines rotatives peut permettre de diminuer cet effet, même si on reste encore dans la classe des machines volumétriques.

2.2.1 Pompes, Compresseurs et Moteurs à engrenages.

La figure I-12 montre un compresseur à engrenages (ou une pompe). Le fluide arrive par le conduit d'aspiration de la partie inférieure et il est transféré au refoulement, en passant par l'extérieur, emprisonné entre les dents.

Lorsque le nombre de dents se réduit à deux, on aboutit au surpresseur Roots de la figure I-13. Il est très répandu car il a un débit relativement grand pour un faible volume. Les deux lobes tournent sans se toucher et sont entraînés par engrenages

extérieurs qui sont lubrifiés à l'huile, alors que l'intérieur de l'appareil est sec. Le gaz entraîné depuis l'aspiration à la pression p_1 , entre chaque lobe et le carter extérieur, est mis brutalement au contact du gaz comprimé, à la pression p_2 , contenu dans le réservoir aval. La compression est complètement irréversible.

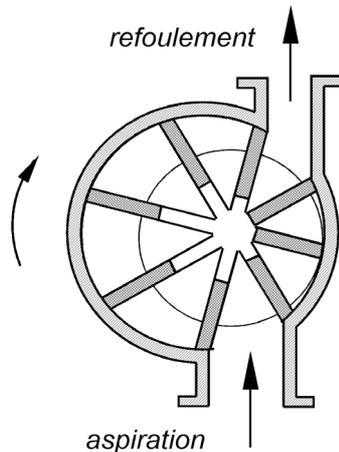


FIG. I-14

Compresseur à palettes

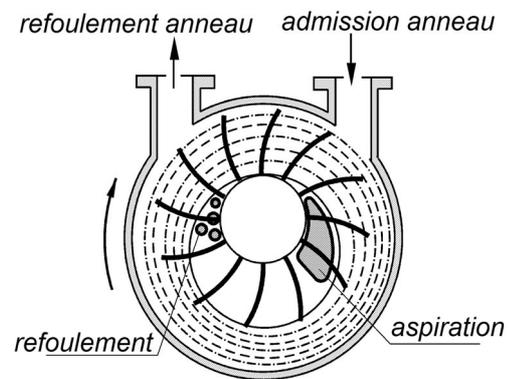


FIG. I-15

Compresseur à anneau liquide

2.2.2 Compresseurs à palettes

Le compresseur à palettes est une machine volumétrique de compression à fluide compressible. On observe en figure I-14 que le fluide est comprimé durant son transfert de l'aspiration au refoulement.

C'est donc une machine avec une compression interne en première partie, qui peut être considérée comme réversible théoriquement, suivie par une compression irréversible comme dans les compresseurs à lobes.

Le compresseur à palettes à compression interne est le plus ancien des compresseurs rotatifs. Il est vraiment à la limite des turbomachines.

Un compresseur à palettes peut aussi être utilisé en pompe à vide primaire, c'est-à-dire avec refoulement à l'atmosphère.

2.2.3 Pompe à anneau liquide

Le compresseur (ou pompe) à anneau liquide (fig. I-15) comporte une roue excentrée munie de palettes qui entraînent un liquide à faible viscosité (de l'eau par exemple). Ce liquide prend la forme d'un anneau limité à l'extérieur par le contour du cylindre, et à l'intérieur par les parois des lumières d'aspiration et de refoulement.

Le cylindre est circulaire et les chambres de compression se forment entre l'anneau liquide et le rotor.

2.2.4 Compresseurs et moteurs à vis

On a rencontré précédemment des dispositifs à engrenages qui offrent, emprisonné entre deux dents successives, le même volume à l'aspiration et au refoulement ; cela convient donc très bien pour les liquides, assez bien pour les gaz faiblement comprimés

et mal pour les gaz fortement comprimés, pour lesquels le débit-volume doit alors varier beaucoup depuis l'aspiration jusqu'au refoulement.

C'est le cas des compresseurs à deux engrenages hélicoïdaux, où le volume emprisonné peut varier, depuis l'entrée jusqu'à la sortie.

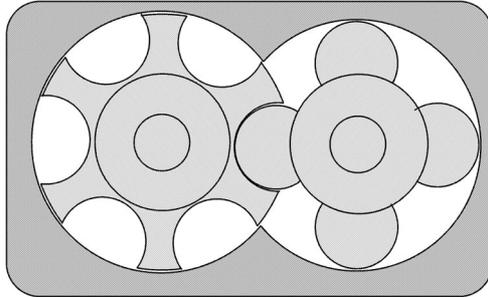


FIG. I-16
Compresseur à vis

La variation du volume occupé par le gaz que l'on désire comprimer est obtenue par le déplacement relatif des deux vis qui ont des profils conjugués. L'un forme des lobes (rotor mâle), l'autre des alvéoles (rotor femelle). Dans la réalisation représentée en figure I-16, les deux rotors entraînent le fluide perpendiculairement au plan de la figure. Le rotor mâle mène le rotor femelle, avec interposition d'un film d'huile.

Il existe aussi des compresseurs monovis.

2.2.5 Compresseur à spirales

Le compresseur à spirales (ou Scroll) est une combinaison mécanique qui permet d'élever le niveau de pression d'un fluide. Les spirales sont représentées sur la partie gauche de la figure I-17, et le fonctionnement sur la partie droite de manière schématique.

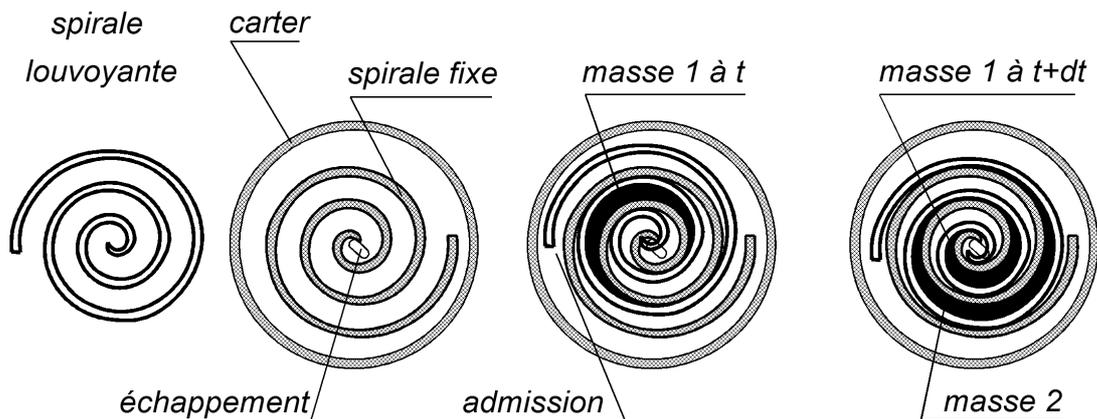


FIG. I-17 - Compresseur à spirales (ou Scroll)

Ce passage en revue rapide avait pour but de bien montrer la diversité de ces machines desquelles émergent néanmoins les pompes et les compresseurs à pistons.

Pour les plus grands débits, ce sont les turbomachines qui s'imposent, et ce sont elles qui vont retenir maintenant notre attention. On reviendra dans le chapitre XIII sur les machines volumétriques.